

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
Факультет електроенерготехніки та автоматики

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ТА ЗАВДАННЯ
до виконання домашньої контрольної роботи з дисципліни

«ПАКЕТИ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ ДЛЯ ПЕОМ»
Частина 2. Використання пакету математичного моделювання MatLab для
аналізу режимів роботи електроенергетичної мережі
141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(навчальне електронне видання)

НТУУ «КПІ»
2016

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
Факультет електроенерготехніки та автоматики

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ТА ЗАВДАННЯ
до виконання домашньої контрольної роботи з дисципліни

«ПАКЕТИ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ ДЛЯ ПЕОМ»
Частина 2. Використання пакету математичного моделювання MatLab для
аналізу режимів роботи електроенергетичної мережі
141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(навчальне електронне видання)

*Рекомендовано Вченою радою
факультету електроенерготехніки та автоматики*

НТУУ «КПІ»
2016

Методичні вказівки виконання домашньої контрольної роботи з дисципліни «Пакети прикладних програм для ПЕОМ. Частина 2» для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Уклад.: Д.В. Настенко, А.Б. Нестерко, Г.О. Труніна – Київ: НТУУ “КПІ”, 2016.

*Гриф надано Вченою радою ФЕА НТУУ “КПІ”
(Протокол № 10 від 30 червня 2016 р.)*

Навчальне електронне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ТА ЗАВДАННЯ
до виконання домашньої контрольної роботи з дисципліни

«ПАКЕТИ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ ДЛЯ ПЕОМ»

Частина 2. Використання пакету математичного моделювання MatLab для
аналізу режимів роботи електроенергетичної мережі
141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Укладачі: Настенко Дмитро Васильович, ст. викл.,
Нестерко Артем Борисович, к.т.н., ст. викл.
Труніна Ганна Олексіївна, асистент.

Відповідальний
Редактор

О.С. Яндульський, професор, д.т.н.

Рецензент

Т.Л. Кацадзе, канд. техн. наук

За редакцією укладачів

Зміст

Вступ.....	5
1. Теоретичні основи моделювання елементів, режимів роботи електроенергетичної системи.....	6
1.1. Індивідуальне завдання №1	6
2. Аналіз стійкості електроенергетичної системи шляхом імітаційного моделювання	8
2.1. Короткий огляд	8
2.2. Приклад оцінки стійкості ЕЕС	9
Д1.1. Склад основних розділів домашньої контрольної роботи	18
Д1.2. Формування цифрової моделі енергосистеми для моделювання усталених і перехідних режимів ЕЕС	18
Д.1.3. Вихідні дані для індивідуального завдання №2	18
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	24

Вступ

Навчальна програма дисципліни «Пакети прикладних програм для ПЕОМ» (ППП) для спеціальності «Системи управління виробництвом та розподілом електроенергії» передбачає виконання домашньої контрольної роботи в середовищі MatLab.

Задачею домашньої контрольної роботи навчити студентів виконувати роботи моделювання режимів роботи енергосистем в MATLAB. В процесі виконання домашньої контрольної роботи студент повинен ознайомитися з методикою імітаційного моделювання усталених режимів ЕЕС, що використовується в проектних організаціях. Засвоїти розрахунки статичної і динамічної стійкості ЕЕС, місць їх встановлення, визначення видів і місць застосування керуючих впливів на режим енергосистеми.

Домашня контрольна робота оформляється у вигляді звіту, який містить виконання індивідуального завдання студента.

Обсяг звіту домашньої контрольної роботи становить 20-25 сторінок, розмір аркушів – А4. Звіт складається з декількох розділів, в кожному з яких повинні бути сформульовані задачі, пояснена методика, дано вирішення поставленої задачі і зроблені відповідні висновки. В звіті необхідно представити результати розрахунків статичної та динамічної стійкості електроенергетичної системи. Розрахунки усталених режимів представляються у вигляді розрахункової схеми з нанесеним на неї параметрами режиму.

Результати розрахунку статичної і динамічної стійкості представляються у вигляді відповідних графіків в MATLAB. Результати розрахунків повинні бути проаналізовані, і по кожному з них повинні бути приведені висновки. Нумерувати сторінки починають з титульного аркуша.

Варіант до виконання домашньої роботи визначається викладачем. Вихідна інформація для виконання індивідуального завдання представлена в Додатку.

1. Теоретичні основи моделювання елементів, режимів роботи електроенергетичної системи

Мета: закріпити теоретичні основи моделювання елементів та режимів роботи електроенергетичної системи.

1.1.Індивідуальне завдання №1

Виконати змістовний та стислий огляд теми індивідуального завдання №1, варіант якого задається викладачем.

Нижче приведений перелік тематик запропонованих для виконання студентами індивідуального завдання №1.

1. Сучасні інформаційні технології для вирішення електроенергетичних задач.
2. Аналіз існуючих систем моделювання для дослідження електромагнітних перехідних процесів в електроенергетичних системах.
3. Неперервно-дискретне та дискретне представлення математичних моделей електроенергетичних об'єктів.
4. Основні підходи до створення дискретних моделей базисних елементів і об'єктів електроенергетичних систем.
5. Дискретні моделі елементів системи імітаційного моделювання.
6. Дискретні моделі комутаційних елементів.
7. Дискретні моделі трьохфазних трансформаторів.
8. Дискретні моделі реакторів.
9. Дискретні моделі батарей статичних конденсаторів.
10. Дискретна модель синхронного генератора.
11. Класифікація промислових задач в електричних мережах та системах електропостачання.
12. Віртуальний підхід до імітаційного моделювання ЕЕС.
13. Методи побудови табличних аналогів матричних операцій при вирішенні рівнянь режимів системи електропостачання.
14. Класифікація моделей для тренувальної підготовки оперативного персоналу.
15. Методологія формування комутаційних моделей систем електропостачання на основі їх графічного схемного представлення.
16. Декомпозиція задач імітаційного моделювання систем електропостачання.
17. Модульна архітектура та адаптивні рішення програмних комплексів для конкретних систем електропостачання.
18. Принципи семантичного опису імітаційних моделей систем

електропостачання.

19. Методи оцінки надійності в інтелектуальних електроенергетичних системах.
20. Моделювання багато провідної лінії.
21. Моделювання кабельної лінії.
22. Моделювання трансформаторів.
23. Моделювання асинхронного навантаження.
24. Комп'ютерне моделювання зміни струму при вмиканні силового трансформатора.
25. Комп'ютерне моделювання пуску асинхронного двигуна.
26. Комп'ютерне моделювання пуску синхронного двигуна.
27. Комп'ютерне моделювання режиму роботи ЕЕС при виникненні зовнішнього короткого замикання.
28. Комп'ютерне моделювання режиму роботи ЕЕС при виникненні небалансу активної потужності по міжсистемному зв'язку.
29. Комп'ютерне моделювання процесів та режимів в схемах з синхронним генератором.
30. Комп'ютерне моделювання процесів та режимів в схемах з синхронним компенсатором.
31. Комп'ютерне моделювання процесів в системах власних потреб електростанції.
32. Комп'ютерне моделювання асинхронного режиму роботи синхронного генератора електростанції.
33. Комп'ютерне моделювання роботи системи автоматичного регулювання збудження.
34. Комп'ютерне моделювання роботи системи автоматичного регулювання частоти обертання турбіни.
35. Комп'ютерне моделювання роботи системи автоматичного регулювання потужності.
36. Комп'ютерне моделювання роботи системи автоматичного частотного розвантаження.
37. Комп'ютерне моделювання роботи системи автоматичного вводу резерву.
38. Комп'ютерне моделювання роботи синхронного генератора при неробочому ході.
39. Комп'ютерне моделювання роботи синхронного генератора електростанції на ізольоване навантаження.
40. Комп'ютерне моделювання системи протиаварійного управління в ЕЕС.

2. Аналіз стійкості електроенергетичної системи шляхом імітаційного моделювання

2.1.Короткий огляд

Важливою характеристикою систем енергопостачання є здатність забезпечувати безперебійне та якісне живлення споживачів. Основним показником якості є здатність електроенергетичної системи (ЕЕС) зберігати або відновлювати свої властивості після різних порушеннях нормального режиму роботи, викликаного слабкими або сильними збуреннями в системі.

Слабкі збурення в системі в основному обумовлені перевантаженням ЕЕС. Струми елементів ЕЕС при таких збуреннях лише на незначну величину перевищують номінальні значення. Стійкість системи до слабких збурень оцінюється коефіцієнтами статичної стійкості ЕЕС. Саме статична стійкість визначає можливість ЕЕС до зберігання працездатності в умовах виходу з ладу окремих вузлів ЕЕС.

Порушення нормального режиму роботи системи енергопостачання може бути викликано сильним збуренням в системі. До сильних збурень в системі енергозабезпечення відносяться збурення, пов'язані, як правило, з різким збільшенням струмів елементів системи до значень, які перевищують номінальні струми у десятки разів. Такі збурення можуть призвести до порушення динамічної стійкості, що супроводжується зміною частоти мережі, різким коливанням напруги та переходу частини генераторів системи у асинхронний режим роботи.

При проектуванні нових ЕЕС та при модернізації старих виникає гостра необхідність у прогнозуванні характеристик ЕЕС. Одним із шляхів визначення стійкості систем є теоретичний аналіз режимів роботи при сильних та слабких збуреннях в системі. Враховуючи реальні параметри кожного елемента системи фактично неможливо через їх велику кількість та складність взаємодії цих параметрів навіть всередині кожного елемента. Необхідність вирішення проблеми призводить до значної ідеалізації параметрів елементів. Однак ідеалізація параметрів не завжди приводить до позитивного результату через складність самих систем електропостачання.

Складності, пов'язані з громіздким та складним теоретичним аналізом стійкості ЕЕС, викликають бажання розробника перекласти рішення задач визначення стійкості на ПЕОМ. У такому випадку можна піти шляхом складання програм в одному з середовищ програмування або шляхом моделювання перехідних процесів одному зі спеціально розроблених середовищ. Широкі можливості для моделювання енергосистем та процесів, що відбуваються в них, надає пакет програм MATLAB.

При аналізі роботи електричних систем необхідно враховувати не тільки електромагнітні параметри системи, але і пов'язані з ним механічні параметри

елементів системи, якщо ці параметри впливають на електромагнітні процеси у системі. Мова йде перш за все про первинні двигуни (турбіни), генератори електричної енергії, автоматичні регулятори, двигуни навантаження, де електрична енергія, яка отримується з розподільної мережі системи, перетворюється у механічну.

Слід відмітити те, що під динамічною стійкістю розуміють здатність системи відновлювати після великих збурень вихідний стан або практично близький до вихідного (допустимому за умовами експлуатації системи). Під статичною стійкістю електричної системи розуміється її здатність відновлювати вихідний режим після короткочасного впливу малого збурення. В якості параметрів зазвичай приймають напругу у вузлових точках та струми у гілках ЕЕС, а під збуренням розуміють зміну механічного моменту на валу двигуна, одного з генераторів або потужності навантаження. Внаслідок незначної кількості збурень, що розглядаються, ЕЕС при аналізі статичної стійкості може розглядатися як лінійна динамічна система. Порушення статичної стійкості може відбуватись внаслідок причин різної фізичної природи. Якщо потужність турбіни, наприклад, досягне максимального можливого значення електромагнітної потужності генератора, відбувається аперіодичне порушення стійкості. При роботі генератора у режимі холостого ходу або при малій потужності, що передається через лінію електропередачі (ЛЕП), яка володіє значним активним опором, можливе саморозгойдування турбогенератора. Аналогічне явище відбувається у вигляді наростаючих коливань кута при неправильному налаштуванні автоматичного регулятора збудження (АРЗ). Це призводить до необхідності розробки ефективних методів та алгоритмів, які забезпечують як високу швидкодію, так і надійність отримання результату. При оперативному управлінні системою розрахунки граничних режимів повинні проводитись з урахуванням зміни схемно- режимної ситуації, а адекватна робота централізованих систем протиаварійної автоматики вимагає спостереження великої кількості аварійних ситуацій за дуже короткий час, обумовлене значною швидкістю зміни параметрів режиму. Тому потрібна розробка нових підходів, які більш повно враховують специфіку завдань оперативного управління.

2.2. Приклад оцінки стійкості ЕЕС

Виконати аналіз статичної та динамічної стійкості ЕЕС

Рішення. Схема ЕЕС представлена на рис.1. Електроенергетична система складається з електростанції, що представлена еквівалентним генератором Г, силового трансформатора Т-1, дволанцюговою ЛЕП-110 кВ. Електростанція працює на шини мережі нескінченної потужності С. Така схема підключення станції до ЕЕС є традиційною.

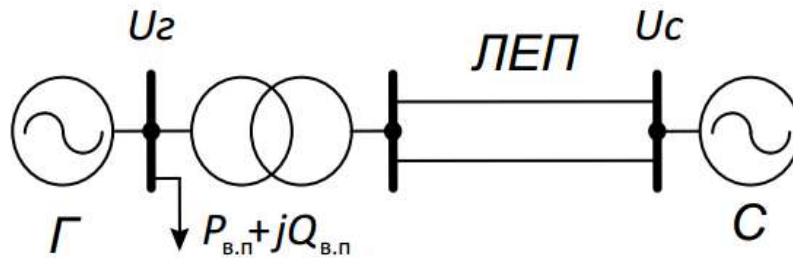


Рисунок 1 – Схема електроенергетичної системи

Генератор Г представлений явнополюсною синхронною машинною, параметри якого приведені на рис.2. На вхід блоку подається сигнал механічної потужності на валу P_m (в.о.) та сигнал напруги збудження V_f (в.о.). При моделюванні знімаємо значення та осцилограми наступних сигналів: $d\omega$ – ковзання, (в.о.); δ – кут навантаження, град.; U_{gen} – напруга на виводах генератора, (в.о.); W_m – механічна швидкість обертання ротора генератора, (в.о.); P_{gen}, Q_{gen} – активна та реактивна потужність генератора, (в.о.); T_e – електромагнітний момент, (в.о.).

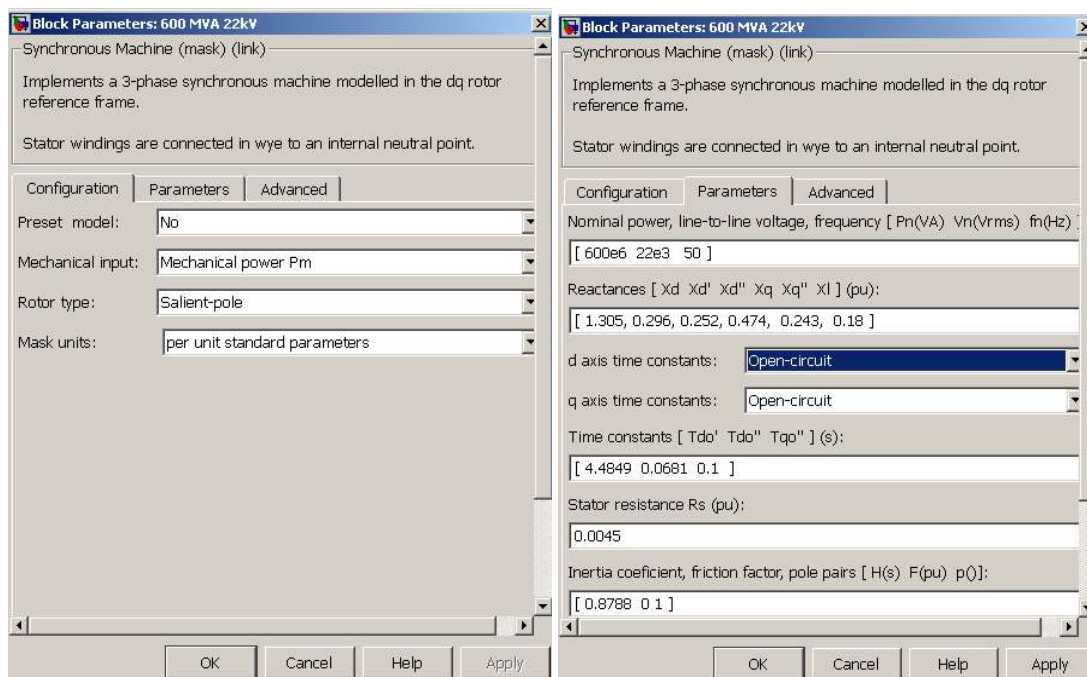


Рисунок 2 – Вікна блоку налаштування параметрів генератора Г

На рис.3 представлено налаштування параметрів силового трансформатора T-1.

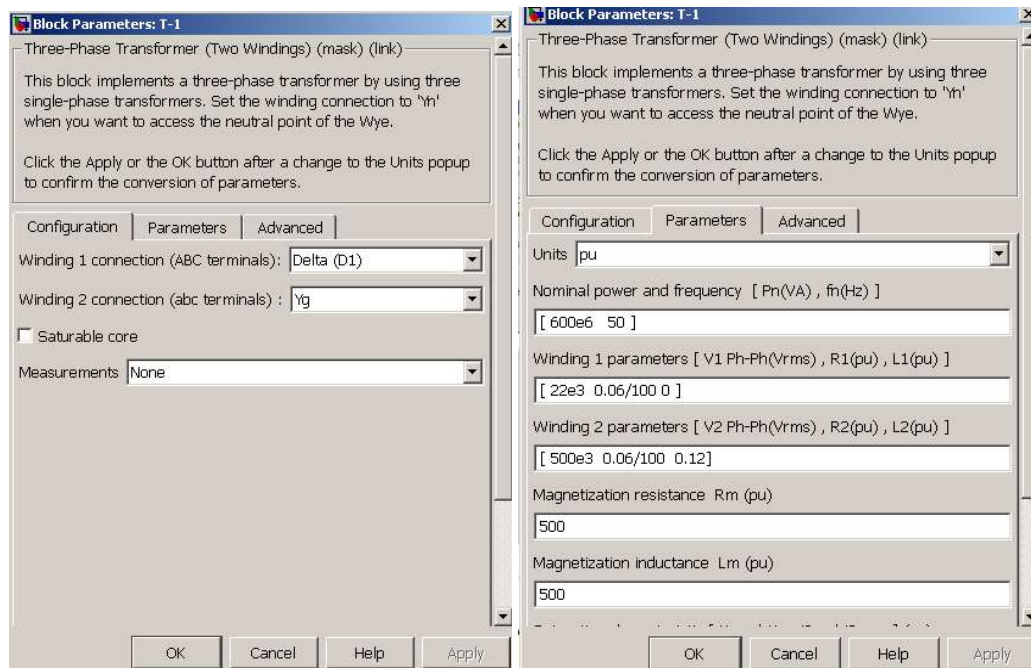


Рисунок 3 – Вікна блоку налаштування параметрів силового трансформатора T-1

На рис.4 представлено налаштування параметрів мережі нескінченної потужності C.

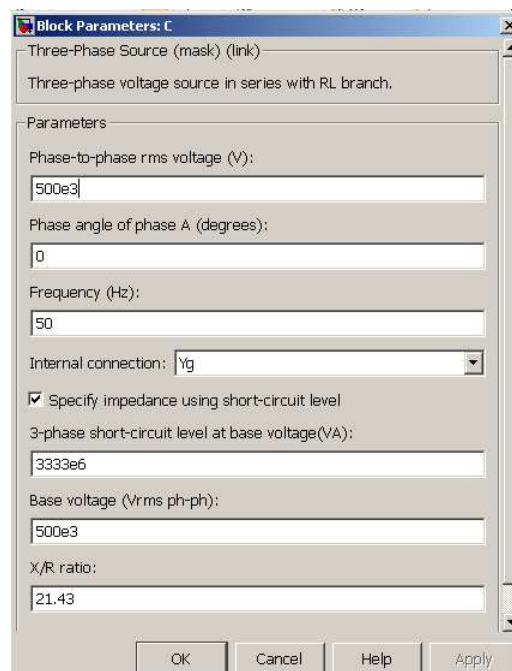


Рисунок 4 – Вікно блоку налаштування параметрів системи C. Налаштування параметрів навантаження власних потреб електростанції зображено на рис.5.

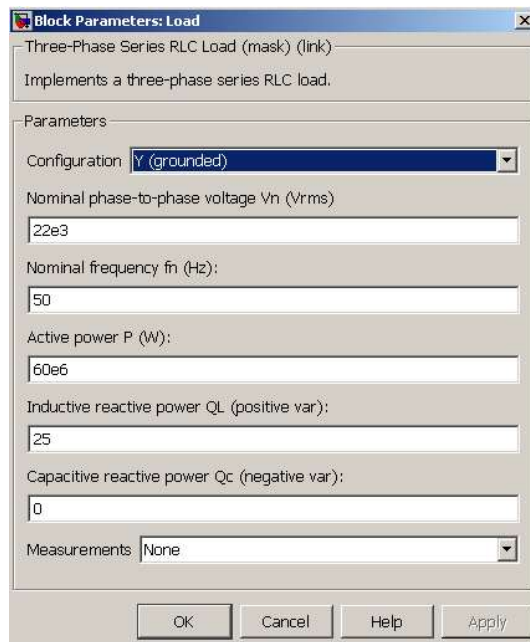


Рисунок 5 – Вікно блоку налаштування параметрів навантаження власних потреб електростанції

На рис.6 представлено налаштування параметрів ланцюга ЛЕП-500 кВ.

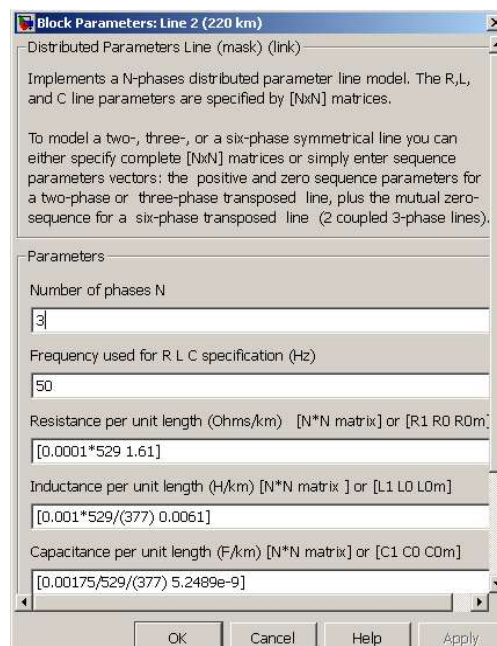


Рисунок 6 – Вікно блоку налаштування параметрів ланцюга ЛЕП-500 кВ

На моделі також представлені блоки контрольно-вимірювальні прилади, які використовуються для контролю електричних та механічних параметрів ЕЕС. Для вимірювання електричних та механічних величин генератора використовується спеціальний вимірювальний блок, призначений для контролю параметрів електричних машин (рис.7).

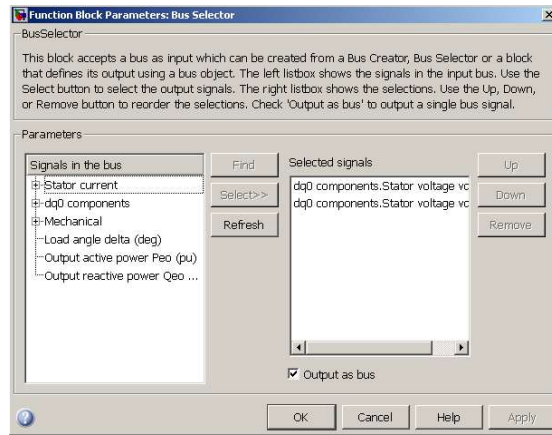


Рисунок 7 – Вікно блоку зняття вихідних сигналів генератора Г

Імітаційна модель ЕЕС представлена на рис.8. Імітація короткого замикання у системі реалізується за допомогою спеціального блоку, в якому задається вид та тривалість короткого замикання (рис.9).

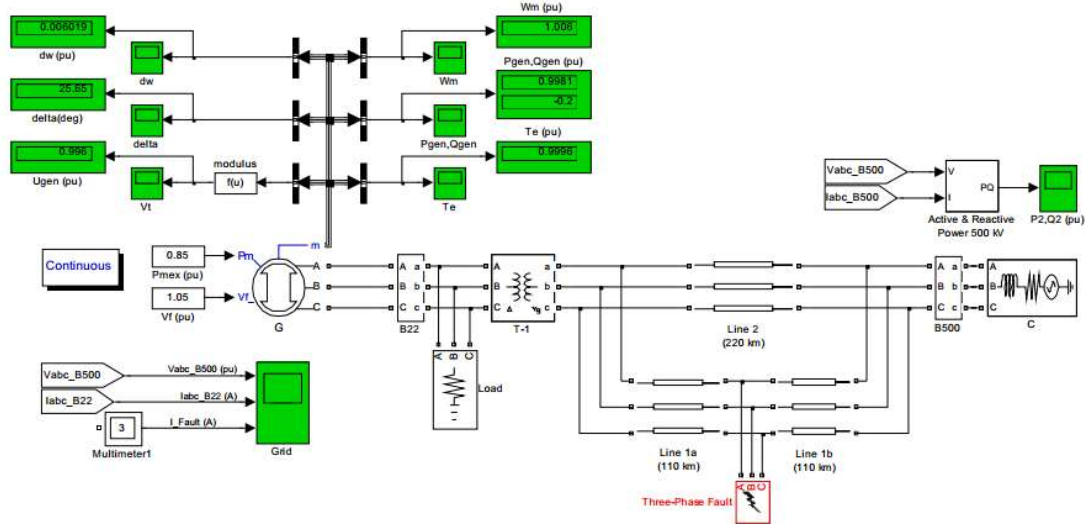


Рисунок 8 – Імітаційна модель електричної станції, що працює на електроенергетичну систему великої потужності

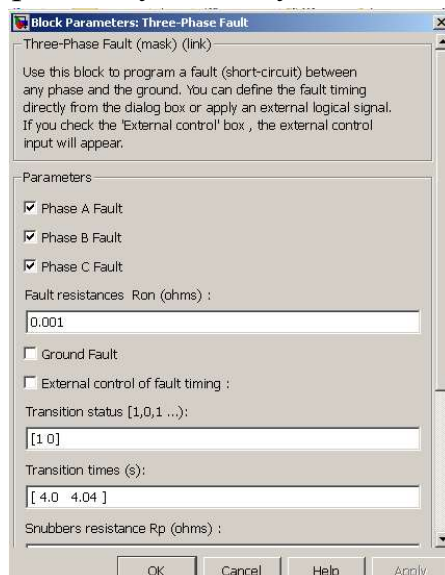


Рисунок 9 – Вікно блоку налаштування параметрів пошкодження в ЕЕС

Модель імітує роботу генератора без АРВ. На вхід блоку подається значення потужності генератора P_m та напруга збудження V_f . Зміна напруги збудження дозволяє регулювати електрорушійну силу синхронної машини, яка працює в генераторному режимі.

Дослідження статичної стійкості системи передачі електричної енергії проводиться наступним чином. Шляхом зміни чисельного значення потужності турбіни на вході P_m генераторного блоку змінюється потужність електричної енергії, яка віддається генератором в електричну мережу. У синхронному генераторі змінюється взаємне положення ротора генератора та магнітного поля статора. Якщо електромагнітний момент опору ротора генератора дорівнює механічному моменту обертання турбіни, то зберігається стійка рівновага системи. Однак при певній величині електрорушійної сили генератора, напруга мережі та характеристики системи передачі електричної енергії існує максимальне значення потужності $P_{\text{граничне}}$, яке можна передати в систему. Якщо потужність турбіни перевищує гранично допустиме значення, механічний момент турбіни не врівноважується електромагнітним моментом генератора. Це призводить до порушення статичної стійкості системи. Порушення статичної стійкості призводить до того, що частота обертання ротора стає більше номінальної швидкості, частота електрорушійної сили генератора стає більше частоти мережі. Усе це призводить до різких коливань струму в системі. Для уникнення тяжких наслідків аварійної ситуації елементи захисту повинні відключити генератор від системи. У протилежному випадку це може призвести до порушення стійкості всієї електроенергетичної системи.

Статична стійкість системи оцінюється коефіцієнтом, чисельне значення якого визначається відношенням різниці граничної потужності та реальної потужності генератора до реальної потужності генератора у розглянутий момент часу.

Порушення стійкості системи може бути викликане сильним збуренням в системі передачі електричної енергії. Достатньо часто причиною порушення нормального режиму роботи системи є коротке замикання на лінії електропередачі (ЛЕП), яке викликане наприклад, порушенням ізоляції після розряду блискавки. Виконаємо імітацію короткого замикання в середині ланцюга Line 1 ЛЕП-500 кВ. Момент пробією ізоляції $t_{\text{поч.}}=4$ с і тривалість збурення $\Delta t=0,04$ с встановлюються у вікні завдання параметрів блоку, зображеного на рис.10.

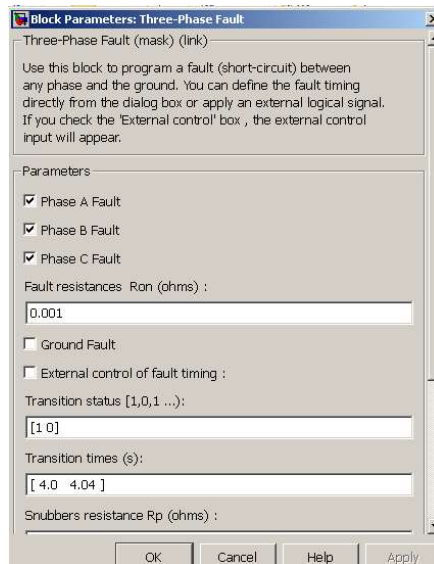


Рисунок 10 – Процедура задання виду пошкодження та тривалості в ЕЕС

При порушенні стійкості системи можна судити за зміною частоти обертання генератора, зміні струму лінії або зміною кута фазного зсуву між напругою мережі та електрорушійною силою генератора. На рис. 11 приведено графік залежності фазного зсуву від часу $\delta(t)$. На графіку чітко виділяються три відрізки часу, які відповідають трьом режимам роботи системи.

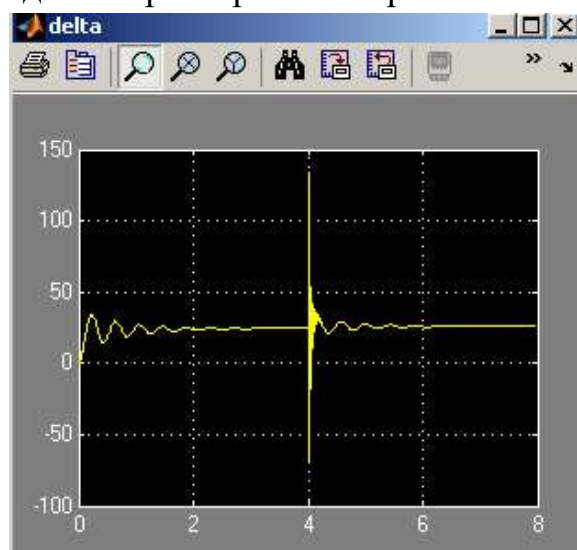


Рисунок 11 – Зміна кута δ при тривалості короткого замикання 0,04 с

Впродовж відрізка часу, який дорівнює 4 с, здійснюється пуск всієї системи передачі електричної енергії. Перехідний процес пуску системи закінчується приблизно через 4 с. При цьому ротор генератора здійснює коливання навколо стійкого значення кута, рівного 25 градусам.

В момент часу $t=4$ с виникає коротке замикання у ланцюгу ЛЕП-500 кВ. Кількість потужності, яка віддається електростанцією в мережу, різко скорочується та механічний момент турбіни не урівноважується електромагнітним моментом генератора. Кут δ різко зростає. Графік відповідає тривалості короткого замикання, рівній 0,04 с. У момент часу $t=4,04$ с пошкодження ліквідується. Система повертається у стійкий стан. Після

сильного збурення ротор здійснює коливання відносно кута стійкої рівноваги $\delta=25$ градусам. Таким чином, при тривалості короткого замикання, рівній 0,04 секунди стійкість системи зберігається, система ще має можливість відновити працездатність після короткого замикання.

На рис.12, 13 приведенні характеристики перехідного процесу при короткому замиканні при тривалості короткого замикання 0,04 с.

Стійкість порушується при тривалому короткому замиканні, рівному 0,8 с. На рис. 14 представлено графік зміни кута δ при тривалості короткого замикання, рівному 0,8 с. Коротке замикання у системі наступає у момент часу 4 с. У продовж відрізка часу, рівному тривалості короткого замикання, ротор генератора під впливом надлишкового механічного моменту повертається на кут, який перевищує критичне значення, при якому повернення у стійкий режим роботи вже неможливе.

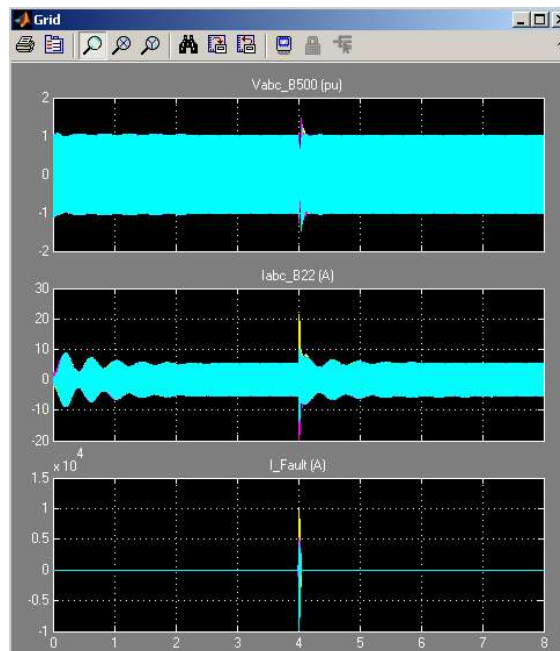
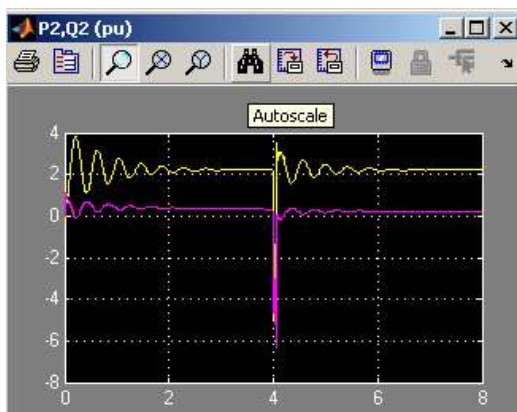
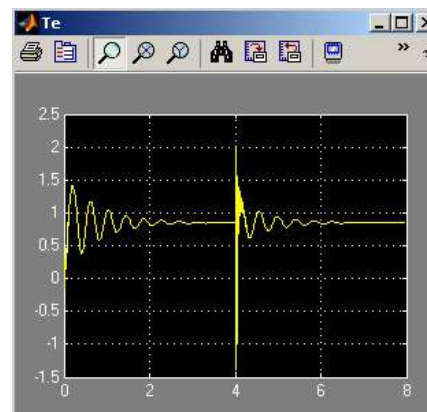


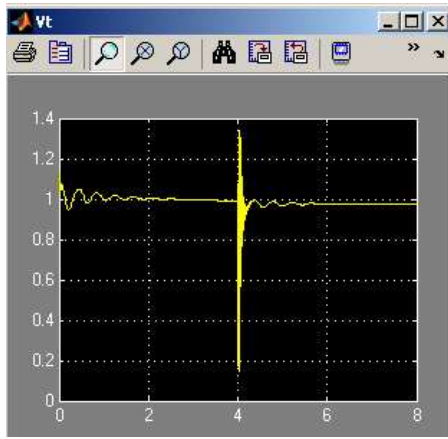
Рисунок 12 – Зміна напруги та струму на шинах системи С при тривалості короткого замикання 0,04 с



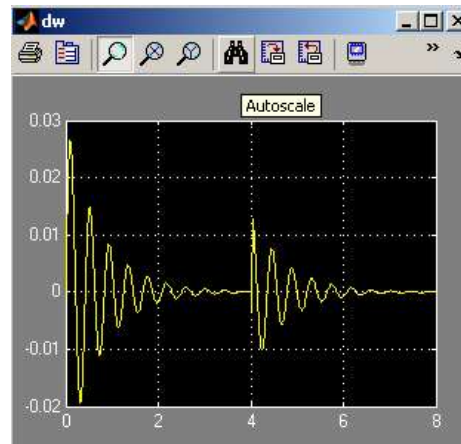
а)



б)



в)



г)

Рисунок 13 – Графіки перехідного процесу при тривалості короткого замикання 0,04 с на шинах генератора Г: а – активна та реактивна потужності генератора; б – електромагнітний момент; в – модуль напруги генератора; г – ковання

Порушується синхронний режим роботи генератора, що представлено на рис. 14 у формі спадаючих ліній впродовж відрізка часу, що відповідає асинхронному режиму роботи системи.

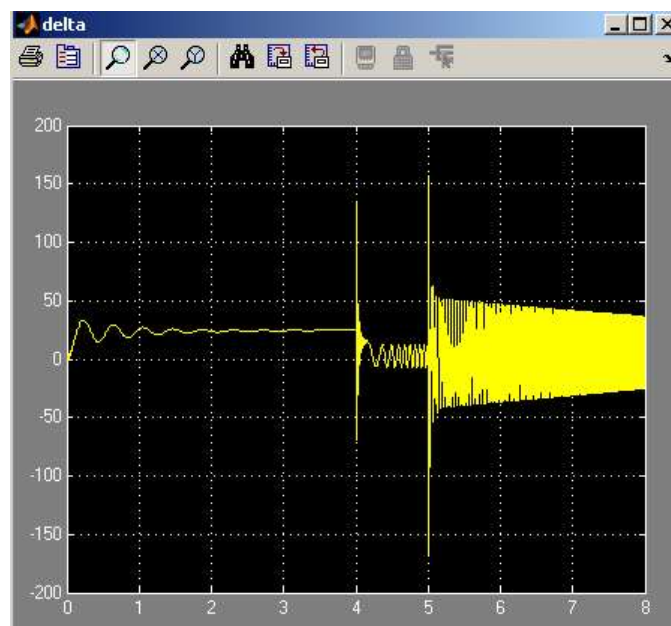


Рисунок 14 – Графіки перехідного процесу при тривалості короткого замикання 1 с на шинах генератора Г

Дослідження режимів роботи енергосистеми шляхом моделювання у середовищі MATLAB у значній мірі скорочує витрати на проектування енергосистеми. При цьому метод аналізу володіє наглядністю та дозволяє прогнозувати поведінку системи при роботах, пов'язаних з модернізацією енергетичних систем. Однак для аналізу складних систем електропостачання необхідно мати комп'ютери з достатньо високою швидкістю та великим об'ємом пам'яті.

Д1.1. Склад основних розділів домашньої контрольної роботи

Домашня контрольна робота складається з наступних розділів:

1. Виконання варіанту індивідуального завдання №1.
2. Виконання варіанту індивідуального завдання №2:
 - Формування цифрової моделі енергосистеми для моделювання усталених режимів.
 - Моделювання нормального і післяаварійного режимів ЕЕС.
 - Оцінка статичної стійкості енергосистеми.
 - Оцінка динамічної стійкості ЕЕС.
 - Розробка рекомендацій по підвищенню статичної та динамічної стійкості ЕЕС.

Д1.2. Формування цифрової моделі енергосистеми для моделювання усталених і перехідних режимів ЕЕС

Для виконання моделювання електричних режимів ЕЕС, в програмному комплексі, необхідно підготувати цифрову розрахункову модель ЕЕС. Цифрова розрахункова модель ЕЕС формується на підставі вихідних даних, відповідних варіанту завдання і фактично являє собою базу даних, що відображає параметри вузлів і гілок, які входять у схему заміщення розглянутої ЕЕС.

Д.1.3. Вихідні дані для індивідуального завдання №2

Для виконання домашньої контрольної роботи в якості вихідних даних задаються:

1. Схема електричної мережі ЕЕС, із зазначенням потужності навантажень споживачів, встановленою потужністю та уставкою системи збудження турбоагрегатів електростанції, довжини ЛЕП, місцем виникнення та віддаленості КЗ.
2. Параметри турбогенераторів, силових трансформаторів та ЛЕП.

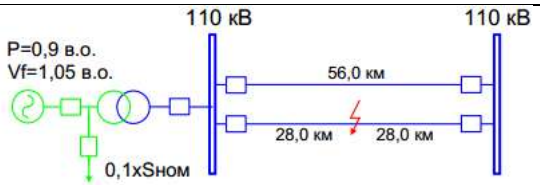
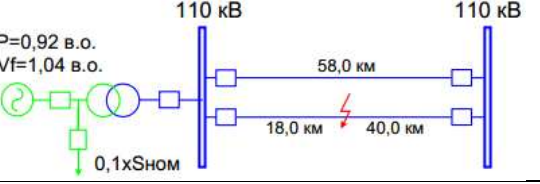
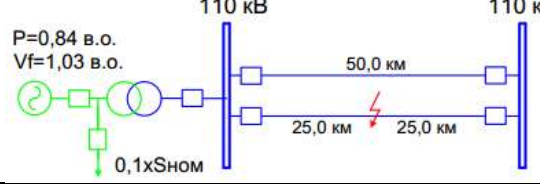
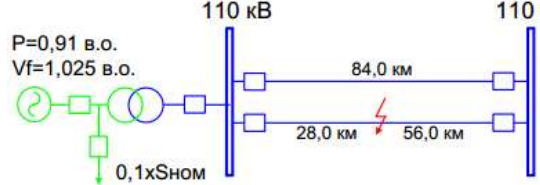
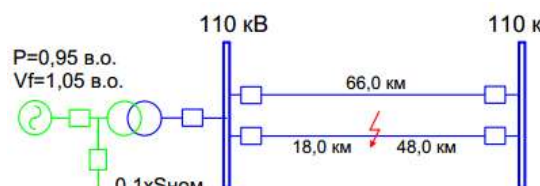
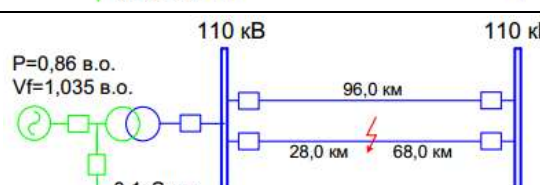
3. Вид і параметри збурення.

Варіант завдання на домашню контрольну роботу визначається викладачем і включає в себе:

- Вид збурення (вид короткого замикання).
- Тривалість збурення.

Варіанти вихідних даних приведені в таблиці Д-1. Вихідні дані складаються: схеми електричної мережі, вид збурення, момент виникнення та тривалість КЗ, а також параметри турбоагрегатів, силових трансформаторів електростанції, ЛЕП приведені в таблицях Д-2 – Д-4.

Таблиця Д-1 – Вихідні дані для виконання домашньої контрольної роботи

№ варіанта	Схема	Вид КЗ	Момент виникнення/ Тривалість
1	 <p>110 кВ 110 кВ</p> <p>$P=0,9$ в.о. $V_f=1,05$ в.о.</p> <p>56,0 км 28,0 км 28,0 км</p> <p>0,1xSNOM</p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	1/0,12
2	 <p>110 кВ 110 кВ</p> <p>$P=0,92$ в.о. $V_f=1,04$ в.о.</p> <p>58,0 км 18,0 км 40,0 км</p> <p>0,1xSNOM</p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	2/0,13
3	 <p>110 кВ 110 кВ</p> <p>$P=0,84$ в.о. $V_f=1,03$ в.о.</p> <p>50,0 км 25,0 км 25,0 км</p> <p>0,1xSNOM</p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	3/0,14
4	 <p>110 кВ 110 кВ</p> <p>$P=0,91$ в.о. $V_f=1,025$ в.о.</p> <p>84,0 км 28,0 км 56,0 км</p> <p>0,1xSNOM</p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	4/0,15
5	 <p>110 кВ 110 кВ</p> <p>$P=0,95$ в.о. $V_f=1,05$ в.о.</p> <p>66,0 км 18,0 км 48,0 км</p> <p>0,1xSNOM</p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	1/0,12
6	 <p>110 кВ 110 кВ</p> <p>$P=0,86$ в.о. $V_f=1,035$ в.о.</p> <p>96,0 км 28,0 км 68,0 км</p> <p>0,1xSNOM</p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	2/0,13

№ варіанта	Схема	Вид КЗ	Момент виникнення/ Тривалість
7	<p> $P=0,82$ в.о. $V_f=1,04$ в.о. $0,1xSHOM$ </p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	3/0,14
8	<p> $P=0,85$ в.о. $V_f=1,05$ в.о. $0,1xSHOM$ </p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	4/0,15
9	<p> $P=0,9$ в.о. $V_f=1,05$ в.о. $0,11xSHOM$ </p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	4/0,12
10	<p> $P=0,8$ в.о. $V_f=1,05$ в.о. $0,11xSHOM$ </p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	3/0,13
11	<p> $P=0,85$ в.о. $V_f=1,05$ в.о. $0,11xSHOM$ </p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	2/0,14
12	<p> $P=0,89$ в.о. $V_f=1,05$ в.о. $0,11xSHOM$ </p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	1/0,15
13	<p> $P=0,84$ в.о. $V_f=1,05$ в.о. $0,11xSHOM$ </p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	2/0,12
14	<p> $P=0,86$ в.о. $V_f=1,05$ в.о. $0,11xSHOM$ </p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	3/0,13
15	<p> $P=0,92$ в.о. $V_f=1,05$ в.о. $0,11xSHOM$ </p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	1/0,14

№ варіанта	Схема	Вид КЗ	Момент виникнення/ Тривалість
16	<p>220 кВ 220 кВ</p> <p>$P=0,91$ в.о. $V_f=1,05$ в.о.</p> <p>82,0 км 22,0 км 60,0 км</p> <p>0,11xSHOM</p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	4/0,15
17	<p>220 кВ 220 кВ</p> <p>$P=0,9$ в.о. $V_f=1,045$ в.о.</p> <p>72,0 км 12,0 км 60,0 км</p> <p>0,11xSHOM</p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	1/0,12
18	<p>220 кВ 220 кВ</p> <p>$P=0,9$ в.о. $V_f=1,03$ в.о.</p> <p>78,0 км 60,0 км 18,0 км</p> <p>0,11xSHOM</p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	2/0,13
19	<p>220 кВ 220 кВ</p> <p>$P=0,9$ в.о. $V_f=1,02$ в.о.</p> <p>84,0 км 14,0 км 70,0 км</p> <p>0,11xSHOM</p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	3/0,14
20	<p>220 кВ 220 кВ</p> <p>$P=0,9$ в.о. $V_f=1,035$ в.о.</p> <p>76,0 км 16,0 км 60,0 км</p> <p>0,11xSHOM</p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	4/0,15
21	<p>330 кВ 330 кВ</p> <p>$P=0,95$ в.о. $V_f=1,05$ в.о.</p> <p>100,0 км 50,0 км 50,0 км</p> <p>0,1xSHOM</p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	3/0,15
22	<p>330 кВ 330 кВ</p> <p>$P=0,91$ в.о. $V_f=1,05$ в.о.</p> <p>90,0 км 40,0 км 60,0 км</p> <p>0,1xSHOM</p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	1/0,12
23	<p>330 кВ 330 кВ</p> <p>$P=0,9$ в.о. $V_f=1,02$ в.о.</p> <p>94,0 км 28,0 км 66,0 км</p> <p>0,1xSHOM</p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	2/0,13
24	<p>330 кВ 330 кВ</p> <p>$P=0,9$ в.о. $V_f=1,045$ в.о.</p> <p>86,0 км 60,0 км 26,0 км</p> <p>0,1xSHOM</p>	$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	4/0,14

№ варіанта	Схема	Вид КЗ	Момент виникнення/ Тривалість
25		$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	1/0,14
26		$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	2/0,14
27		$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	3/0,15
28		$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	4/0,15
29		$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	1/0,2
30		$K^{(1)}$ $K^{(3)}$	2/0,2

Параметри трансформаторів для виконання домашньої контрольної роботи приведенні в таблиці Д-2.

Таблиця Д-2 – Параметри трьохфазних трансформаторів

№ п/п	Тип трансформатора	S ном, кВА	U1, кВ	U2, кВ	Uк, %	Рк, кВт	Рхх, кВт	Іхх, %
1	ТДЦ-80000/110	80000	121	10,5	11	310	85	0,6
2	ТДЦ-125000/110	125000	121	10,5	10,5	400	120	0,55
3	ТДЦ-250000/110	250000	121	15,75	10,5	640	200	0,5
4	ТДЦ-400000/220	400000	242	15,75	11	680	330	0,4
5	ТЦ-630000/220	630000	242	20	12,5	1300	380	0,35
6	ТНЦ-1000000/330	1000000	347	24	11,5	2200	480	0,3
7	ТНЦ-1250000/330	1250000	347	24	14,5	2200	715	0,5

Таблиця Д-3 – Параметри генераторів турбогенераторів електростанцій ЕЕС

№ п/п	Тип генератора	S ном, МВА	P ном, МВт	U ном, кВ	n, об/хв	cos φ	Tj, с	X''d, в.о.	X'd, в.о.	Xd, в.о.	Td0, с	T''d, с
1	ТВФ-63	78,75	63	10,5	3000	0,8	6	0,136	0,202	1,513	6,15	0,102
2	ТВФ-100-2	117,5	100	10,5	3000	0,85	6	0,183	0,263	1,788	6,46	0,119
3	ТГВ-200	235,3	200	15,8	3000	0,85	7	0,19	0,295	1,84	6,85	0,138
4	ТГВ-300	235,3	300	20	3000	0,85	8	0,173	0,258	1,698	5,87	0,112
5	ТВВ-500	588	500	20	3000	0,9	8	0,243	0,355	2,56	9,2	0,16
6	ТГВ-800	888,9	800	24	3000	0,9	8	0,219	0,307	2,33	9,3	0,122
7	ТВВ-1000	1111	1000	24	1500	0,9	11	0,269	0,382	2,82	9,8	0,22

Примітка. Блочні трансформатори і трансформатори зв'язку на електростанціях вибираються по потужності вказаною на схемах і напругою генераторів приведених в таблиці Д-1.

Таблиця Д-4 – Параметри трьохфазної ЛЕП ЕЕС

№ п/п	Номинальна напруга ЛЕП U ном, кВ	Питомий активний опір ЛЕП Rо, Ом/км	Питомий реактивний опір ЛЕП Xо, Ом/км
1	110	0,08	0,4
2	220	0,08	0,4
3	330	0,068	0,34

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Основна література

1. В. А. Веников, Г. В. Веников. Теория подобия и моделирования. М: Высш. шк. 1984 г
2. Мышкис А. Д. Элементы теории математических моделей. Изд.3, 2007, - 192 с.
3. Гуц А. К. Математическая логика и теория алгоритмов. Изд.2, доп. 2009, -. 120 с.
4. Гулятьев А. Визуальное моделирование в среде MATLAB: Учебный курс – СПб: Питер, 2000. – 432 с.
5. Дьяконов В. Simulink 4. Специальный справочник. – СПб: Питер, 2002. – 528 с.
6. Специальный справочник. Математические пакеты расширения MATLAB./ Под. ред. Дяконова В., Круглова В. – СПб.: Птер, 2001. 480 с.

Допоміжна література

1. Даценко В. А., Гетманов В. Т. Выблов А. Н. Математическое моделирование в системах электроснабжения. Учеб. пособие/ Том. политех. ун-т – Томск, 2003. – 120 с.
2. Костин В. Н. Оптимизационные задачи электроэнергетики. Учеб. пособие / Санкт- Петербург, 2008, - 123 с.
3. Обухов С. Г. Математическое моделирование в системах электроснабжения промышленных предприятий // Методические указания к выполнению лабораторных работ. – Томск: 2007 (эл. версия). – 91 с.
4. И.В. Черных. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с. : ил.